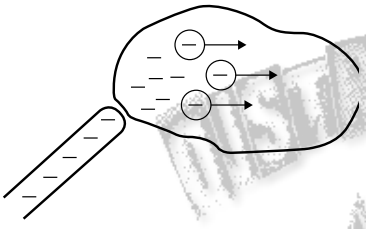
Aula 07 e 08: Condutores em Equilíbrio Eletrostático

Análise do fenômeno

No presente capítulo iremos utilizar todas as técnicas aprendidas anteriormente. Trata-se de uma síntese de conhecimentos acerca do potencial e vetor campo elétricos.

Recapitulando, os fenômenos elétricos podem ser descritos através de duas maneiras: uma escalar (potencial elétrico) e outra vetorial (vetor campo elétrico/ força elétrica). Dessa forma, vale a pena recordar as reflexões teóricas explanadas em momentos anteriores. Feito isso, vamos seguir adiante!

Considere a seguinte situação: Um objeto condutor de formato arbitrário, inicialmente neutro, é eletrizado (negativamente) em determinada região como ilustra a figura a seguir:



No início

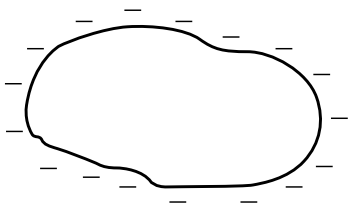
Pergunta-se: Como essas cargas irão se distribuir?

Vamos explicar o fenômeno em uma **descrição escalar!**

Inicialmente, cria-se uma diferença de potencial entre os diversos pontos do objeto, à qual será responsável por uma movimentação temporária dos portadores de cargas. Tal movimentação irá cessar quando não houver mais **diferença de potencial** entre os diversos pontos do objeto. Nessa situação, dizemos que o condutor está em **equilíbrio eletrostático!**

Agora, vamos explicá-lo do ponto de **vista vetorial!**

Inicialmente, existem uma repulsão muito grande entre as cargas elétricas, dessa maneira, elas irão se redistribuir de forma a **minimizar** tal repulsão. Na configuração final, temos o **equilíbrio eletrostático!**

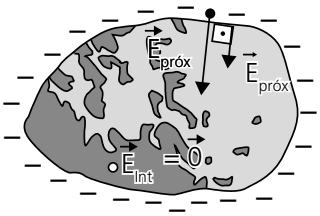


No final

Assim, podemos afirmar que um objeto em equilíbrio eletrostático possui as seguintes características:

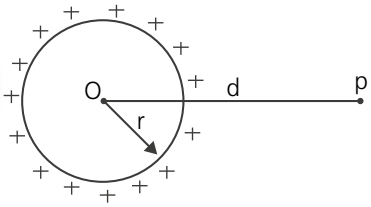
- As cargas ficam localizadas na região externa e possuem maior concentração em regiões pontiagudas (**poder das pontas**). Em breve voltaremos a essa discussão
- O **potencial elétrico é constante** em toda região do condutor.
- O campo elétrico é nulo em pontos de seu interior e perpendicular na superfície. Adicionalmente, podemos utilizar a **Lei de Gauss** (não abordada no nosso curso) para demonstrar que:

$$\vec{E}_{sup} = \frac{\vec{E}_{prox}}{2}$$



Condutor esférico

Um modelo de estudo da eletrostática bastante útil é o condutor esférico carregado em equilíbrio eletrostático. Na presente secção, devemos analisar duas questões: o potencial e o campo elétrico.



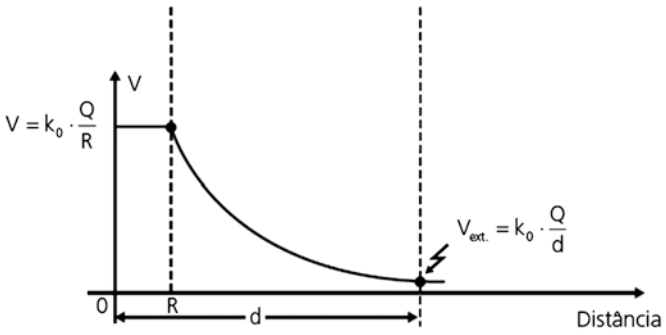
Para o potencial

- É constante em todo corpo, interior e superfície, e vale:

$$V = \frac{K_0 Q}{R}$$

- Externamente, devido a simetria, no cálculo, podemos tratar como uma carga pontual Q no centro da esfera, assim:

$$V = \frac{K_0 Q}{R}$$



Para o Campo

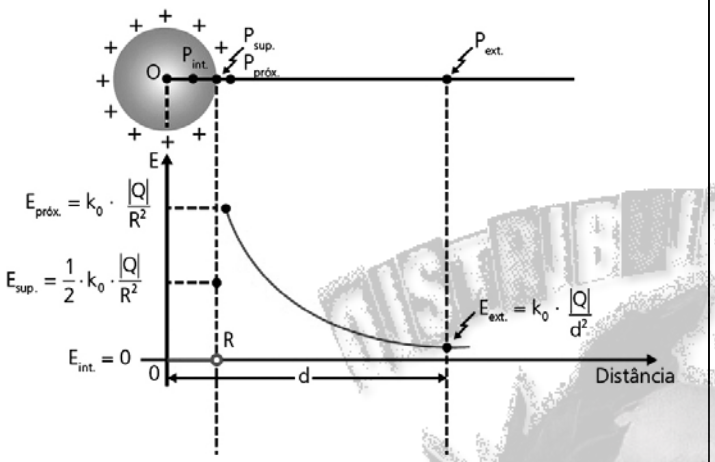
- É nulo no interior
- Na superfície é perpendicular e, como visto anteriormente:

$$\vec{E}_{sup} = \frac{\vec{E}_{prox}}{2}$$

- Externamente, devido a simetria, para efeito de cálculo, podemos considerar como uma carga pontual, assim:

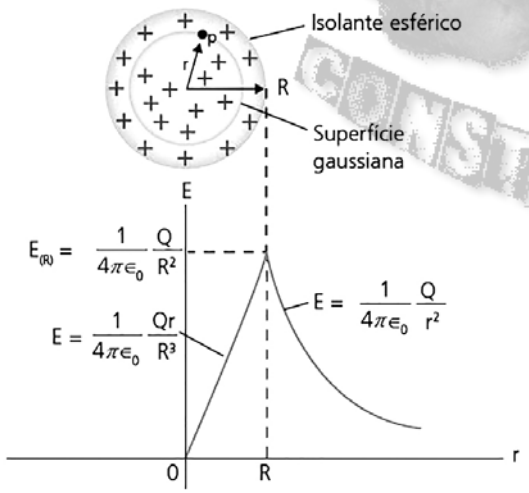
$$E = \frac{K_0 |Q|}{d^2}$$

De direção radial e sentido para fora, caso a carga seja positiva ou para dentro, caso a carga seja negativa.



Obs: Campo elétrico para um isolante esférico e maciço

Podemos mostrar, com o uso da Lei de Gauss, o seguinte comportamento:



Capacitância

Essa grandeza elétrica serve para nos indicar a capacidade de armazenamento de carga em um dispositivo. Estudaremos com mais detalhes essa grandeza na aula de capacitores. Por enquanto para uma esfera condutora, temos o seguinte:

$$C = \frac{Q}{V}$$

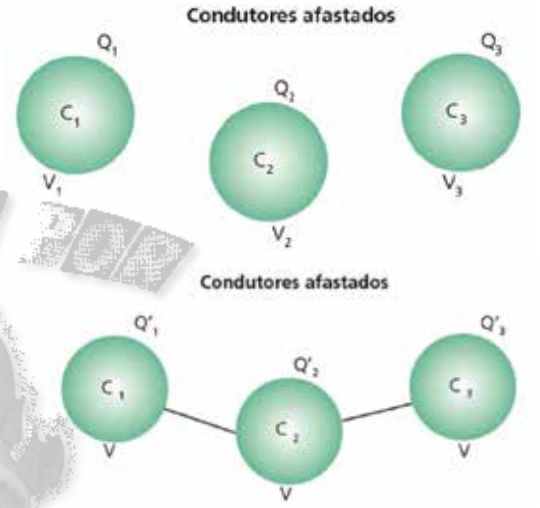
Onde Q corresponde a carga (em Coulomb) e V ao potencial elétrico no corpo (em Volt). Assim, a unidade de capacitância é o Farad (Coulomb/Volt) e representado pela letra F.

Sabemos que $V = \frac{KQ}{R}$. Dessa forma a capacitância para uma esfera.

$$C = \frac{Q}{\frac{KQ}{R}} \rightarrow C = \frac{R}{K}$$

Ou seja, a capacitância é proporcional a ao Raio, e, dessa forma, quanto maior o raio da esfera, maior a capacidade dela acumular cargas por unidade de potencial. Algo que já tínhamos comentado nas primeiras aulas.

Exemplo: Determinar o potencial elétrico na situação de equilíbrio eletrostático.



- Após a ligação, o sistema de condutores adquire o equilíbrio eletrostático.

Pelo Princípio de Conservação das Cargas Elétricas:

$$Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Mas, sabemos que:

$$Q'_1 = C_1V;\ Q'_2 = C_2V;\ Q'_3 = C_3V$$

Logo, temos que:

$$C_1V + C_2V + C_3V = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow$$
$$V(C_1 + C_2 + C_3) = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow$$
$$V = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$

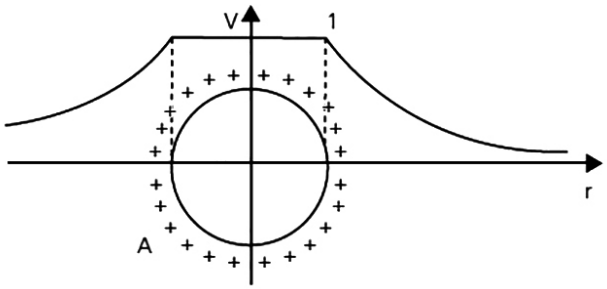
Densidade de cargas

A densidade de carga linear, superficial ou volumétrica, é uma quantidade de carga elétrica em uma linha, superfície ou volume, respectivamente. É medida em coulombs por metro (C/m), metro quadrado (C/m²) ou metro cúbico (C/m³), respectivamente. Como existem cargas positivas e negativas, a densidade pode tomar também valores negativos. Assim como qualquer densidade, ela depende da sua posição. Esta não deve ser confundida com densidade de portadores de carga. Como relatado na Química, a densidade de carga pode se referir à distribuição sobre o volume de uma partícula, átomo ou molécula. Assim, um cátion de lítio possui mais densidade de carga do que um cátion de sódio, pois o sódio possui raio atômico maior.

DISTRIBUIDO POR CONSTANTINO

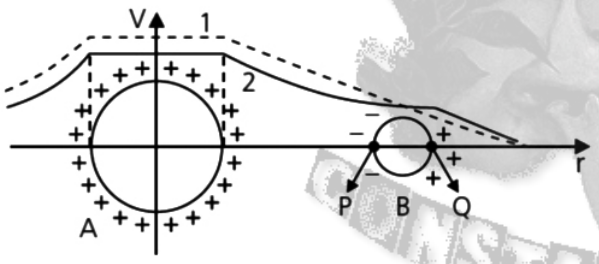
Eletrização por indução

Para ilustrar a situação, façamos o seguinte: tomemos um indutor A, carregado com uma carga elétrica q, positiva. A tem o formato de uma esfera condutora e está em equilíbrio eletrostático. O potencial, como função da distância ao centro da esfera, está representado a seguir pela curva 1.



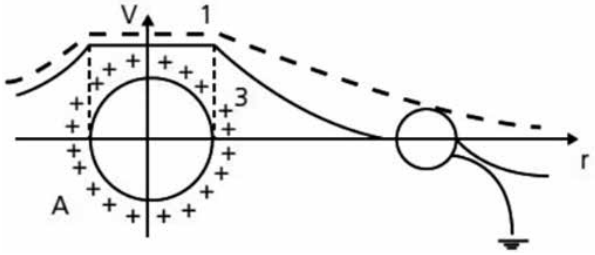
Potencial devido a um condutor esférico.

Ao aproximarmos outro condutor, B, de A, a situação se modifica. Antes do equilíbrio eletrostático se estabelecer, B não tem um potencial uniforme, o que provoca o movimento das cargas livres, que se redistribuem. Como o potencial inicial no ponto P é maior que no ponto Q (ver figura), as cargas livres (negativas) deslocam-se das proximidades de Q (menor potencial) para as proximidades de P (maior potencial), até que o acúmulo de cargas negativas em torno de P forneça uma contribuição negativa ao potencial desta região e que o déficit de cargas negativas em torno de Q forneça uma contribuição positiva ao potencial desta região. Estes novos "potenciais" são tais que, ao se superporem ao potencial original, tornam B uma região equipotencial. O efeito sobre o condutor A é o de redução do potencial e também o de redistribuição de suas cargas. O potencial final é ilustrado pela curva 2, como vemos a seguir.



Potencial devido à indução eletrostática.

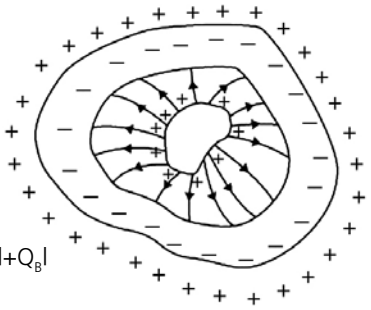
Caso o induzido seja ligado à Terra, seu potencial se reduzirá até que, no equilíbrio eletrostático, ele seja igual ao potencial da Terra, que adotamos V = 0. Neste caso, temos a situação ilustrada pela curva 3, na figura a seguir:



Observe que, neste caso, o induzido adquire uma carga –q denominada carga induzida. Quando |q| = |q'|, dizemos que a indução é total e, quando |q| > |q'|, a indução é parcial. Isto significa que, na indução total, todas as linhas de força que nascem no indutor terminam no induzido, ou vice-versa. Na indução parcial, nem todas as linhas de força que saem do indutor terminam no induzido, ou o contrário.

Observação:

É imporante lembrar que, quando todas as linhas de campo que saem de uma superfície carregada chegam a outra superfície, a carga induzida é igual à carga indutora. Chamamos isso de indução total.



$|Q_A| = |-Q_B| = |+Q_B|$

Leitura adicional: Para raios

Os para-raios são dispositivos destinados a proteger aparelhos e construções de danos causados por raios. Para isso, a explicação para o funcionamento desses dispositivos reside no poder das pontas, cuja característica consiste na maior densidade superficial de cargas nas regiões pontiagudas em um condutor. Nas proximidades dessa região o campo elétrico torna-se bastante intensificado.

Um tipo simples é uma haste condutora com uma extremidade no ponto mais alto da construção. Esta haste é ligada, por um fio, a outra haste, enterrada. Esta montagem permite que o acúmulo de cargas induzidas na construção (por uma nuvem eletrizada, por exemplo) concentre-se na extremidade dos para-raios. Nestas condições, o raio, ou seja, a descarga elétrica entre as nuvens e a Terra, "cai" no para-raio e não na construção.

Uma nuvem carregada positivamente induz cargas negativas que se concentram na extremidade do para-raio (a). O raio "cai" sobre os para-raios, não afetando a construção.

O fato do campo elétrico ser mais intenso facilita com que ocorra a "quebra" da rigidez dielétrica do ar, momento a partir do qual o meio deixa de ser isolante e passa a ser condutor.

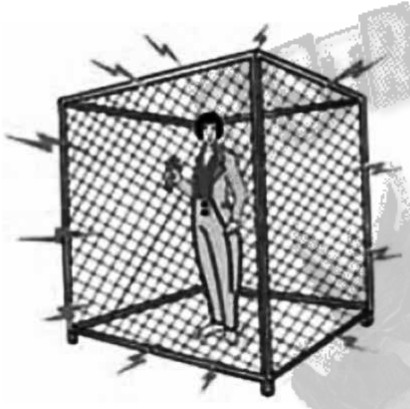
Exercícios

1. (Eear) Considere as seguintes afirmações a respeito de uma esfera homogênea carregada em equilíbrio eletrostático:
   I. As cargas elétricas se distribuem pela superfície da esfera, independentemente de seu sinal;
   II. Na superfície dessa esfera o campo elétrico é nulo;
   III. Na superfície dessa esfera o campo elétrico é normal à superfície e no seu interior ele é nulo;
   IV. A diferença de potencial elétrico entre dois pontos quaisquer da sua superfície é nula.

A respeito dessas afirmações, pode-se dizer que
A) todas estão corretas
B) apenas I está correta
C) I, III e IV estão corretas
D) II, III e IV estão corretas

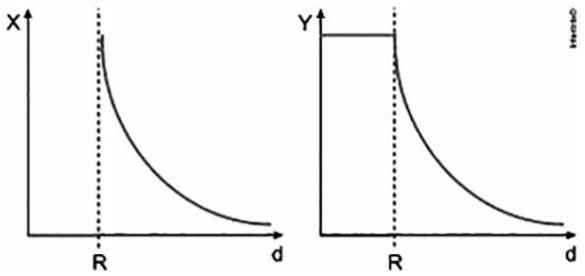
2. (Efomm) Um condutor P, de raio 4,0 cm e carregado com carga 8,0 nC, está inicialmente muito distante de outros condutores e no vácuo. Esse condutor é a seguir colocado concentricamente com um outro condutor T, que é esférico, oco e neutro. As superfícies internas e externa de T têm raios 8,0 cm e 10,0 cm, respectivamente. Determine a diferença de potencial entre P e T, quando P estiver no interior de T.
A) $154,8 \cdot 10^2$ V
B) $16 \cdot 10^1$ V
C) $9,0 \cdot 10^2$ V
D) $9,8 \cdot 10^1$ V
E) $180,0 \cdot 10^2$ V

3. A gaiola de Faraday é um curioso dispositivo que serve para comprovar o comportamento das cargas elétricas em equilíbrio. A pessoa em seu interior não sofre descarga.



Dessa experiência, conclui-se que o campo elétrico no interior da gaiola é
A) uniforme e horizontal, com o sentido dependente do sinal das cargas externas.
B) nulo apenas na região central onde está a pessoa.
C) mais intenso próximo aos vértices, pois é lá que as cargas mais se concentram.
D) uniforme, dirigido verticalmente para cima ou para baixo, dependendo do sinal das cargas externas.
E) inteiramente nulo.

4. Os gráficos abaixo apresentam a relação entre duas grandezas físicas com a distância. As duas grandezas físicas em questão estão relacionadas a uma esfera condutora, de raio carregada positivamente.



Com base em seus conhecimentos a respeito de eletrostática analise as afirmações abaixo:
I. O gráfico X versus **d** apresenta a relação entre o Campo Elétrico com a distância a partir do centro do condutor esférico;
II. O gráfico Y versus **d** apresenta a relação entre o Potencial Elétrico com a distância a partir do centro do condutor esférico;
III. A esfera condutora é obrigatoriamente maciça;
IV. A relação entre o Campo Elétrico e a distância é $E\alpha\frac{1}{d}$, que é a mesma entre o Potencial Elétrico e a distância $V\alpha\frac{1}{d}$.

Assinale a alternativa correta.
A) Apenas as afirmações III e IV são verdadeiras.
B) Apenas as afirmações II e III são verdadeiras.
C) Apenas as afirmações I e II são verdadeiras.
D) Apenas as afirmações I e IV são verdadeiras.
E) Todas as afirmações são verdadeiras.

5. Durante uma experiência didática sobre eletrostática, um professor de Física eletriza uma esfera metálica oca suspensa por um fio isolante. Na sequência, faz as seguintes afirmações:
I. A carga elétrica transferida para a esfera se distribui na superfície externa desta;
II. O campo elétrico no interior da esfera é nulo;
III. O campo elétrico na parte exterior da esfera tem direção perpendicular à superfície desta;
IV. A superfície da esfera, na situação descrita, apresenta o mesmo potencial elétrico em todos os pontos;
V. A carga elétrica acumulada na esfera é positiva, pois lhe foram transferidas cargas positivas.

Está correto o que se afirma em
A) I apenas.
B) I e II apenas.
C) I, II e III apenas.
D) I, II, III e IV apenas.
E) I, II, III, IV e V.

6. Duas esferas isolantes, A e B, possuem raios iguais a R_A e R_B e cargas, uniformemente distribuídas, iguais a Q_A e Q_B, respectivamente. Sabendo-se que $5Q_A = 2Q_B$ e ainda que $10R_A = 3R_B$, qual a relação entre suas densidades volumétricas de cargas ρ_A/ρ_B?
A) 100/9
B) 15/8
C) 200/6
D) 400/27
E) 280/9

7. Considere uma esfera oca metálica eletrizada. Na condição de equilíbrio eletrostático,
A) o vetor campo elétrico no interior da esfera não é nulo.
B) o potencial elétrico em um ponto interior da esfera depende da distância desse ponto à superfície.
C) o vetor campo elétrico na superfície externa da esfera é perpendicular à superfície.
D) a distribuição de cargas elétricas na superfície externa da esfera depende do sinal da carga com que ela está eletrizada.
E) o módulo do vetor campo elétrico em um ponto da região externa da esfera não depende da distância desse ponto à superfície.

8. Uma carga q distribui-se uniformemente na superfície de uma esfera condutora, isolada, de raio R. Assinale a opção que apresenta a magnitude do campo elétrico e o potencial elétrico num ponto situado a uma distância r = R/3 do centro da esfera.

A) E = 0 V / m e U = 0 V

B) E = 0 V / m e U = $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R}$

C) E = 0 V / m e U = $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3q}{R}$

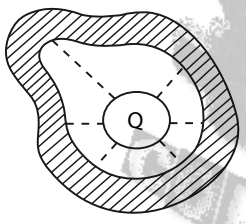
D) E = 0 V / m e U = $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qr}{R^2}$

E) E = $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{rq}{R^3}$ e U = 0 V

9. Uma esfera de cobre com raio da ordem de micrômetros possui uma carga da ordem de dez mil cargas elementares, distribuídas uniformemente sobre sua superfície. Considere que a densidade superficial é mantida constante. Assinale a alternativa que contém a ordem de grandeza do número de cargas elementares em uma esfera de cobre com raio da ordem de milímetros.

A) 10^{19}.
B) 10^{16}.
C) 10^{13}.
D) 10^{10}.
E) 10^{1}.

10. A figura representa um condutor oco e um outro condutor de forma esférica dentro da cavidade do primeiro eletrostático. Sabe-se que o condutor interno tem carga total +Q. Podemos afirmar que

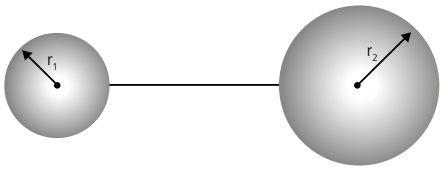


A) não há campo elétrico dentro da cavidade.
B) as linhas de força dentro da cavidade são retas radiais em relação à esfera.
C) a carga na superfície interna do condutor oco é –Q e as linhas de força são perpendiculares a essa superfície.
D) a carga na superfície interna do condutor oco é –Q e as linhas de força tangenciam essa superfície.
E) não haverá diferença de potencial entre os dois condutores for igual a Q.

11. O gráfico ao lado representa o modo como varia o potencial elétrico de uma casca esférica de raio R, muito fina e positivamente carregada, com a distância r a seu centro. Sabendo-se que R = 1,0 m e que V_0 é 36 π volts, determine o valor em unidades de 10^{-10} C/m² da densidade de carga na superfície da casca esférica.

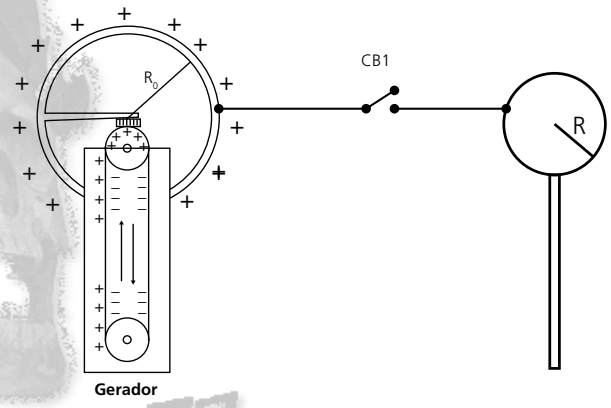
A) 10
B) 5
C) 12
D) 15

12. O sistema de condutores perfeitos da figura consta de duas esferas de raios r_1 = a e r_2 = 2a, interligadas por um longo fio condutor de capacitância nula. Quando o sistema é eletrizado com carga positiva Q, após o equilíbrio eletrostático ser alcançado, o condutor de raio r_1 apresenta densidade superficial de cargas σ_1 e o de raio r_2 apresenta densidade superficial de cargas σ_2. Nessa situação, qual a relação $\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$?



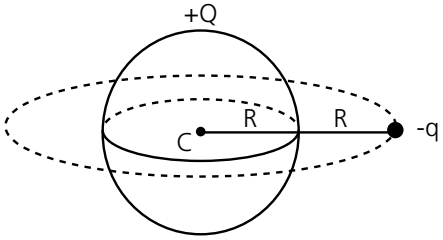
A) 2
B) 3
C) 4
D) 5

13. (Efomm) Considere que o Gerador de Vande Graaff da figura está em funcionamento, mantendo constante o potencial elétrico de sua cúpula esférica de raio R_0 metros. Quando, então, é fechada a chave CH1, uma esfera condutora de raio $R_1 = \frac{R_0}{4}$ metros, inicialmente descarregada, conecta-se à cúpula por meio de fios de capacidade desprezível (também é desprezível a indução eletrostática). Atingido o equilíbrio eletrostático, a razão $\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$, entre as densidades superficiais de carga elétrica da esfera e da cúpula, vale



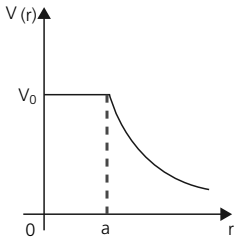
A) 4
B) 2
C) 1
D) 1/2
E) 1/4

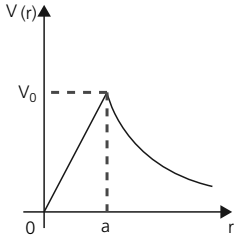
14. (AFA) Uma partícula com carga –q e massa **m** gira em torno de uma esfera de raio R uniformemente eletrizada com uma carga +Q. Se o potencial no centro da esfera é Vc, a energia cinética da partícula para que ela se mantenha em movimento circular uniforme a uma distância 2R do centro da esfera é

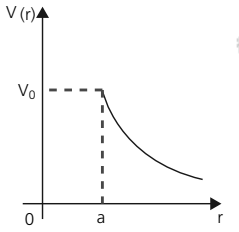


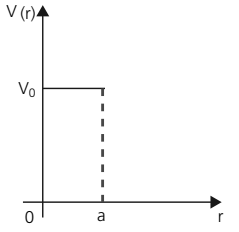
A) qV_c
B) $\frac{qV_c}{2}$
C) $2qV_c$
D) $\frac{qV_c}{4}$

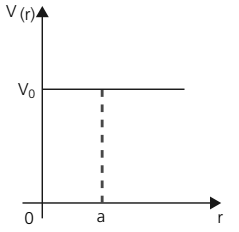
15. Um condutor esférico e isolado, de raio **a**, é eletrizado positivamente de modo que a sua superfície seja mantida a potencial V_0. O gráfico que melhor representa a variação do potencial V(r), em função da distância **r** ao centro do condutor, esférico, é

A) 

B) 

C) 

D) 

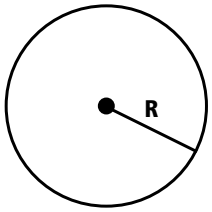
E) 

16. Duas gotas de água em formato esférico de raio de curvatura $R_1 = 1{,}0$ mm e $R_2 = \sqrt[3]{7}$ mm carregadas com magnitude $q_1 = 20$ mC e $q_2 = -70$ mC se juntam de maneira a formar outra gota também em formato esférico. Determine o potencial elétrico da nova gota considerando-a como uma esfera condutora.

Use: $K = 9{,}0 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$.
A) –120 MV
B) –185 MV
C) –225 MV
D) –350 MV

17. A figura mostra uma esfera maciça R não condutora, de raio R, carregada uniformemente. Se a carga da esfera é Q, o campo elétrico em um ponto localizado a R/2 do centro da esfera é

Dado: $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ é a constante eletrostática.



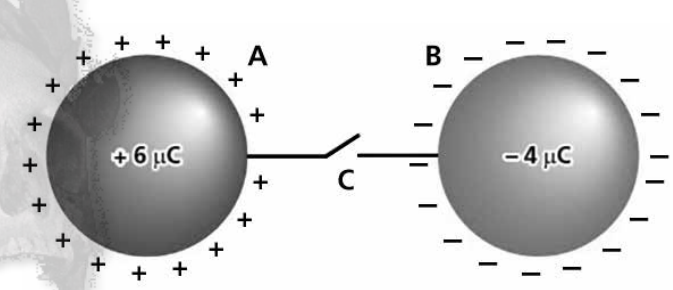
A) $\frac{Q}{\pi\varepsilon_0 R^2}$

B) $\frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0 R}$

C) $\frac{Q}{8\pi\varepsilon_0 R^2}$

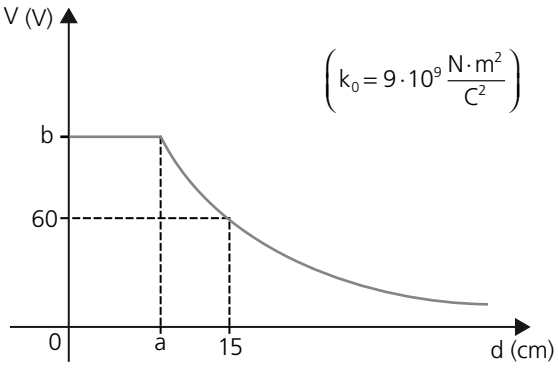
D) $\frac{Q^2}{2\pi^2\varepsilon_0 R^2}$

18. Duas esferas condutoras de iguais dimensões, A e B, estão eletricamente carregadas como indicada a figura, sendo unidas por um fio condutor no qual há uma chave C inicialmente aberta.



Quando a chave é fechada, passam elétrons
A) de A para B, e a nova carga de A é + 2 μC.
B) de A para B, e a nova carga de B é – 1 μC.
C) de B para A, e a nova carga de A é + 1 μC.
D) de B para A, e a nova carga de B é – 1 μC.
E) de B para A, e a nova carga de A é + 2 μC.

19. (Mackenzie-SP) Considerando um ponto do infinito como referencial, o potencial elétrico de uma esfera condutora no vácuo varia com a distância ao seu centro, segundo o gráfico a seguir.

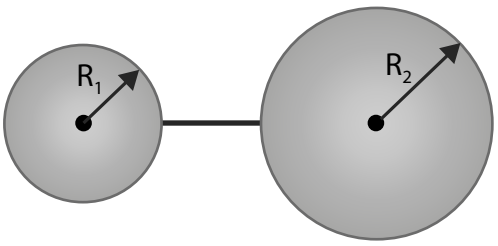


A capacidade elétrica dessa esfera é 10 pF. Os valores de a e b do gráfico são, respectivamente,
A) 5 e 100.
B) 6 e 100.
C) 5 e 120.
D) 6 e 120.
E) 9 e 100.

20. (Puc) Em dias secos e com o ar com pouca umidade, é comum ocorrer o choque elétrico ao se tocar em um carro ou na maçaneta de uma porta em locais onde o piso é recoberto por carpete. Pequenas centelhas elétricas saltam entre as mãos das pessoas e esses objetos. As faíscas elétricas ocorrem no ar quando a diferença de potencial elétrico atinge o valor de 10.000 V em uma distância de aproximadamente 1 cm. A esse respeito, marque a opção correta.
A) A pessoa toma esse choque porque o corpo humano é um bom condutor de eletricidade.
B) Esse fenômeno é um exemplo de eletricidade estática acumulada nos objetos.
C) Esse fenômeno só ocorre em ambientes onde existem fi ações elétricas, como é o caso dos veículos e de ambientes residenciais e comerciais.
D) Se a pessoa estiver calçada com sapatos secos de borracha, o fenômeno não acontece, porque a borracha é um excelente isolante elétrico.

21. (UFV) Durante uma tempestade, um raio atinge um ônibus que trafega por uma rodovia. Pode-se afirmar que os passageiros
A) não sofrerão dano físico em decorrência desse fato, pois os pneus de borracha asseguram o isolamento elétrico do ônibus.
B) serão atingidos pela descarga elétrica, em virtude da carroceria metálica ser boa condutora de eletricidade.
C) serão parcialmente atingidos, pois a descarga será homogeneamente distribuída na superfície interna do ônibus.
D) não sofrerão dano físico em decorrência desse fato, pois a carroceria metálica do ônibus atua como blindagem.
E) não serão atingidos, pois os ônibus interurbanos são obrigados a portar um para-raios em sua carroceria.

22. (Puc) O sistema de condutores da figura consta de duas esferas de raios $R_1 = a$ e $R_2 = 2a$, interligadas por um fio condutor de capacidade nula. Quando o sistema é eletrizado com carga positiva Q, após o equilíbrio eletrostático ser alcançado, o condutor de raio R_1 apresenta densidade elétrica superficial e o de raio R_2 apresenta densidade elétrica superficial σ_2.



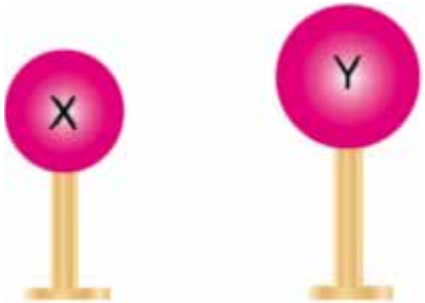
Nesta situação, a relação $\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$ vale
A) zero
B) 0,5
C) 1,0
D) 1,5
E) 2,0

23. (UEG) Os recentes motins em presídios brasileiros chamaram a atenção de modo geral para a importância das telecomunicações na operação de estruturas organizacionais. A necessidade de se impossibilitar qualquer tipo de comunicação, no caso de organizações criminosas, tornou-se patente. Embora existam muitos sistemas de comunicação móvel, o foco centrou-se em celulares, em virtude de suas pequenas dimensões físicas e da facilidade de aquisição e uso. Várias propostas foram colocadas para o bloqueio das ondas eletromagnéticas ou de rádio. A primeira delas consiste em envolver o presídio por uma Gaiola de Faraday, ou seja, "embrulhá-lo" com um material que seja bom condutor de eletricidade ligado à terra. Uma segunda proposta era utilizar um aparelho que gerasse ondas eletromagnéticas na mesma faixa de frequência utilizada pelas operadoras de telefonia móvel. Essas ondas seriam espalhadas por meio de antenas, normalmente instaladas nos muros do presídio.

Acerca das informações contidas no texto anterior, julgue a validade das afirmações a seguir.
I. Uma Gaiola de Faraday é uma blindagem elétrica, ou seja, uma superfície condutora que envolve uma dada região do espaço e que pode, em certas situações, impedir a entrada de perturbações produzidas por campos elétricos e/ou magnéticos externos;
II. A eficiência da Gaiola de Faraday depende do comprimento de onda das ondas eletromagnéticas da telefonia celular, pois isso definirá as dimensões da malha utilizada em sua construção;
III. A segunda proposta citada no texto é a geração de ondas nas mesmas frequências utilizadas pelas operadoras de telefonia móvel. Com isso, através de interferências destrutivas, compromete-se a comunicação entre a ERB (torre celular ou estação de rádio) e o telefone.

Assinale a alternativa correta:
A) Apenas as afirmações I e II são verdadeiras.
B) Apenas as afirmações I e III são verdadeiras.
C) Apenas as afirmações II e III são verdadeiras.
D) Todas as afirmações são verdadeiras.

24. Considere duas esferas metálicas, X e Y, sobre suportes isolantes e carregadas positivamente.



A carga de X é 2Q e a de Y é Q. O raio da esfera Y é o dobro do raio da esfera X. As esferas são postas em contato por meio de um fio condutor, de capacidade elétrica irrelevante, até ser estabelecido o equilíbrio eletrostático. Nessa situação, as esferas X e Y terão cargas elétricas, respectivamente, iguais a:

A) Q e 2Q

B) 2Q e Q

C) $\frac{3Q}{2}$ e $\frac{3Q}{2}$

D) $\frac{Q}{2}$ e Q

25. Em 1963, Hodgkin e Huxley receberam o prêmio Nobel de Fisiologia por suas descobertas sobre a geração de potenciais elétricos em neurônios. Membranas celulares separam o meio intracelular do meio externo à célula, sendo polarizadas em decorrência do fluxo de íons. O acúmulo de cargas opostas nas superfícies interna e externa faz com que a membrana possa ser tratada, de forma aproximada, como um capacitor. Considere uma célula em que íons, de carga unitária e = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, cruzam a membrana e dão origem a uma diferença de potencial elétrico de 80 mV. Quantos íons atravessaram a membrana, cuja área é A = $5 \cdot 10^{-5}$ cm^2, se sua capacitância por unidade de área é $C_{área} = 0,8 \cdot 10^{-6}$ F/cm^2 v?

A) $2 \cdot 10^7$ íons
B) $2 \cdot 10^8$ íons
C) $2 \cdot 10^{10}$ íons
D) $2 \cdot 10^{11}$ íons

26. (UFPR) O processo de eletrização por atrito, ou triboeletrização, é responsável, em parte, pelo acúmulo de cargas nas nuvens e, nesse caso, a manifestação mais clara desse acúmulo de cargas é a existência de raios, que são descargas elétricas extremamente perigosas. Entretanto, como o ar atmosférico é um material isolante, os raios não ocorrem a todo momento. Para que ocorram, o valor do campo elétrico produzido no ar por um objeto carregado deve ter uma intensidade maior do que um certo valor crítico chamado rigidez dielétrica. É importante notar que não apenas o ar, mas todos os materiais, sejam isolantes ou condutores, possuem rigidez dielétrica. Nos condutores, em geral, essa grandeza tem valores muito menores que nos isolantes, e essa é uma característica que os diferencia. Assim, com um campo elétrico pouco intenso é possível produzir movimento de cargas num condutor, enquanto num isolante o campo necessário deve ser muito mais intenso. Sabendo que a carga máxima que pode ser armazenada por um condutor esférico com raio de 30 cm colocado nessa região é de30 μC. Supondo que o potencial elétrico a uma distância muito grande do condutor seja nulo, quanto vale o potencial elétrico produzido por esse condutor esférico na sua superfície quando ele tem a carga máxima determinada?

Dados: $k_0 = 9 \cdot 10^9$ N · m^2/C^2

A) $9 \cdot 10^5$
B) $9 \cdot 10^6$
C) $3 \cdot 10^5$
D) $3 \cdot 10^6$
E) $1 \cdot 10^6$

28. Mauro ouviu no noticiário que os presos do Carandiru, em São Paulo, estavam comandando, de dentro da cadeia, o tráfico de drogas e fugas de presos de outras cadeias paulistas, por meio de telefones celulares. Ouviu também que uma solução possível para evitar os telefonemas, em virtude de ser difícil controlar a entrada de telefones no presídio, era fazer uma blindagem das ondas eletromagnéticas, usando telas de tal forma que as ligações não fossem completadas. Mauro ficou em dúvida se as telas eram metálicas ou plásticas. Resolveu, então, com seu celular e o telefone fixo de sua casa, fazer duas experiências bem simples.

1º. Mauro lacrou um saco plástico com seu celular dentro. Pegou o telefone fixo e ligou para o celular. A ligação foi completada.

2º. Mauro repetiu o procedimento, fechando uma lata metálica com o celular dentro. A ligação não foi completada.

O fato de a ligação não ter sido completada na segunda experiência, justifica-se porque o interior de uma lata metálica fechada:

A) permite a polarização das ondas eletromagnéticas diminuindo a sua intensidade.
B) fica isolado de qualquer campo magnético externo.
C) permite a interferência destrutiva das ondas eletromagnéticas.
D) fica isolado de qualquer campo elétrico externo.

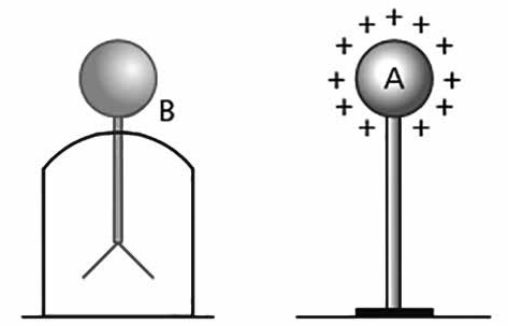
29. (Enem–PPL) Durante a formação de uma tempestade, são observadas várias descargas elétricas (raios), que podem ocorrer: das nuvens para o solo (descarga descendente), do solo para as nuvens (descarga ascendente) ou entre uma nuvem e outra. As descargas ascendentes e descendentes podem ocorrer por causa do acúmulo de cargas elétricas positivas ou negativas, que induz uma polarização oposta no solo. Essas descargas elétricas ocorrem devido ao aumento da intensidade do(a)

A) campo magnético da Terra.
B) corrente elétrica gerada dentro das nuvens.
C) resistividade elétrica do ar entre as nuvens e o solo.
D) campo elétrico entre as nuvens e a superfície da Terra.
E) força eletromotriz induzida nas cargas acumuladas no solo.

30. Uma esfera metálica de raio R = 0,50 m está carregada com uma carga positiva e em equilíbrio eletrostático, de modo que sua densidade superficial de cargas seja $1,0 \cdot 10^{-6}$ C/m^2. A esfera encontra-se no vácuo. Assim, determine a carga elétrica da esfera. **Dado:** no vácuo k = $9 \cdot 10^9$ N · m^2/C^2

A) $\pi \cdot 10^{-6}$ C
B) $2\pi \cdot 10^{-6}$ C
C) $3\pi \cdot 10^{-6}$ C
D) $4\pi \cdot 10^{-6}$ C
E) $5\pi \cdot 10^{-6}$ C

31. (Puc) A presença do corpo eletrizado A perturba a experiência que um estudante realiza com um aparelho elétrico B.



Para anular esse efeito, mantendo A carregado, o estudante pode :

a) envolver A com uma esfera metálica sem ligá-la ao solo
b) envolver A com uma esfera isolante sem ligá-la ao solo
c) envolver A com uma esfera isolante, ligando-a ao solo
d) envolver A com uma esfera metálica, ligando-a ao solo
e) colocar entre A e B uma placa metálica

Gabarito

1	2	3	4	5	6	7	8
C	C	E	C	D	D	C	B
9	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
D	C	A	A	A	D	A	C
17	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
C	C	E	B	D	D	D	A
25	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	
A	A	D	D	D	A	D	

Anotações

Resolução

1.

I. **Verdadeiro.** Para que as cargas elétricas se distribuam pela superfície da esfera, é necessário que ocorra entre elas um fenômeno conhecido como repulsão, esse fenômeno ocorre em cargas que possuem sinal positivo e também em cargas que possuem sinal negativo. Portanto, é possível concluir que as cargas elétricas não dependem do sinal delas para se distribuírem pala superfície da esfera.

II. **Falso.** No equilíbrio eletrostático as cargas estão localizadas na superfície da esfera, elas são emissoras de linhas de campo elétrico, logo é possível concluir que, nessa região, o campo elétrico não é nulo.

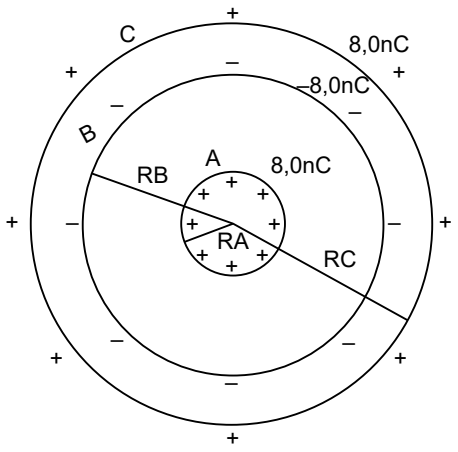
III. **Verdadeiro.** Como explicado na solução do item II, as cargas estão localizadas na superfície da esfera e elas emitem linhas de campo elétrico que são perpendiculares (normal) e estão saindo da superfície esférica, ou seja, por esse motivo, o campo elétrico é normal à superfície da esfera e nulo do interior dela.

IV. **Verdadeiro.** A diferença de potencial elétrico está associada ao movimento da carga elétrica em determinada região. Portanto, para que haja o equilíbrio eletrostático em determinada região, nesse caso a superfície de uma esfera, é necessário que a diferença de potencial elétrico, entre dois pontos quaisquer da superfície esférica, seja zero para que não ocorra o movimento de cargas elétricas nela.

Resposta: C

2.

i) Perceba que o condutor P está dentro do condutor T, ou seja, irá ocorrer no condutor T um fenômeno conhecido como indução total. Baseado nisso e no que foi fornecido pelo enunciado, temos:



Percebe-se que o condutor P irá induzir uma carga de – 8 nC na superfície interna do condutor T. Observe que o condutor T é neutro, logo a carga na superfície dele tem que ser 8 nC.

ii) Observe que, por está dentro do condutor T, o condutor P irá sofrer influência dos potenciais elétricos exercidos pelas superfícies interna e externa de condutor T. Portanto, o potencial elétrico no condutor P é:

$$V_p = \frac{kQ_A}{R_A} + \frac{kQ_B}{R_B} + \frac{kQ_C}{R_C} =$$

$$\frac{9\cdot10^9\cdot8\cdot10^{-9}}{4\cdot10^{-2}} + \frac{9\cdot10^9\cdot(-8\cdot10^{-9})}{8\cdot10^{-2}} + \frac{9\cdot10^9\cdot(8\cdot10^9)}{10\cdot10^{-2}} \rightarrow$$

$$V_p = 1800 - 900 + 720 \rightarrow \boxed{V_p = 1620\ V}$$

iii) O potencial do condutor T é obtido por meio do potencial total que está atuando na superfície externa dele por causa da influência da superfície interna dele e do condutor P. Baseado nisso, temos:

$$V_T = \frac{kQ_A}{R_C} + \frac{kQ_B}{R_C} + \frac{kQ_C}{R_C} =$$

$$\frac{9\cdot10^9\cdot8\cdot10^{-9}}{10\cdot10^{-2}} + \frac{9\cdot10^9\cdot(-8\cdot10^{-9})}{10\cdot10^{-2}} + \frac{9\cdot10^9\cdot(8\cdot10^9)}{10\cdot10^{-2}}$$

$$V_T = \cancel{720} - \cancel{720} + 720 \rightarrow \boxed{V_T = 720\ V}$$

iv) Diferença de potencial entre p e T: $V_p - V_T = 1620\ V - 720\ V \rightarrow \boxed{V_p - V_T = 900\ V = 9{,}0\cdot10^2\ V}$

Resposta: C

3.

I. A gaiola do Faraday foi um experimento realizado pelo físico Michael Faraday para provar que em equilíbrio eletrostático, as cargas elétricas em um condutor se distribuem por toda a superfície externa e, como consequência, não há diferença de potencial elétrico no interior desses materiais. Tal comportamento garante que o campo elétrico em seu interior torna-se inteiramente nulo, logo, uma pessoa dentro dessa gaiola não sofre descarga elétrica.

II. Baseado na passo I), é possível concluir que os itens A, C e D estão incorretos.

III. O item B está incorreto porque, se o campo elétrico for nulo apenas na região central da gaiola, a pessoa sentiria descarga em outras partes da gaiola, ou seja, isso indica que há carga elétrica nessas regiões, o que é um absurdo, pois, a experiência de Faraday provou que não há.

Resposta: E

4.

I. **Verdadeiro**. Em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico dentro de um condutor esférico é nulo. Perceba que, no gráfico **x** versus **d**, quando 0 < d < R (Região interna da esfera), x = 0. Portanto, é possível concluir que esse gráfico se refere a relação entre o campo elétrico com a distância a partir do centro do condutor esférico.

II. **Verdadeiro**. Em equilíbrio eletrostático, o potencial elétrico dentro de um condutor esférico é constante. Perceba que, no gráfico **y** versus **d**, quando 0 < d < R (Região interna da esfera), y = constante. Portanto, é possível concluir que esse gráfico se refere a relação entre o potencial elétrico com a distância a partir do centro do condutor esférico.

III. **Falso**. Se o material for condutor, é possível obter os mesmos gráficos para uma esfera oca, pois o que importa é a distribuição de cargas elétricas na superfície da esfera.

IV. **Falso**. Observe que o campo elétrico e o potencial elétrico de uma esfera condutora são obtidos por meio das seguintes relações:

$$\boxed{E = \frac{kQ}{d^2}} \ ; \ \boxed{V = \frac{kQ}{d}}$$

Sendo **k** e Q valores definido, é possível concluir que $\boxed{E\alpha = \frac{1}{d^2}}$

Resposta: C

047.717-161399/22

5.

I. **Verdadeiro**. Inicialmente existe uma repulsão muito grande entre as cargas elétricas, dessa maneira, elas irão se distribuir na superfície externa da esfera para se afastarem o máximo possível e, dessa maneria, minimizar a repulsão existente.

II. **Verdadeiro**. As cargas estão localizadas na superfície externa da esfera e elas emitem linhas de campo elétrico que são perpendiculares a superfície e que estão saindo dela para fora da esfera, ou seja, as cargas não exercem campo elétrico dentro da esfera.

III. **Verdadeiro**. A necessidade de o campo elétrico ser perpendicular a superfície de um condutor que está em equilíbrio eletrostático decorre do fato de que, se o campo elétrico fosse inclinado em relação à superfície do condutor, haveria uma componente dele que seria tangente a superfície do condutor e ela provocaria o movimento de cargas no condutor, ou seja, ele não estaria em equilíbrio eletrostático.

IV. **Verdadeiro**. A diferença de potencial elétrico está associada ao movimento da carga elétrica em determinada região. Portanto, para que haja o equilíbrio eletrostático em determinada região, nesse caso a superfície de uma esfera, é necessário que a diferença de potencial entre dois pontos quaisquer da superfície seja zero, ou seja, apresente o mesmo potencial elétrico em todos os pontos.

V. **Falso**. O enunciado não forneceu informações suficientes para obter o sinal da carga que foi transferida para a esfera, portanto, não é possível afirmar que ela é positiva.

Resposta: D

6.

I. Densidade volumétrica de carga (ρ) é a quantidade de carga que se encontra em cada unidade de volume de um corpo, ou seja, $\rho = \frac{\text{Carga (Q)}}{\text{Volume (V)}}$.

II. O volume de uma esfera é obtido por meio da relação $V = \frac{4}{3}\pi(\text{Raio})^3$. Baseado nisso e no passo (I), temos para as esferas A e B que:

$$\boxed{\rho_A = \frac{Q_A}{\frac{4}{3}\pi R_A{}^3}}\text{(I)} \; ; \; \boxed{\rho_B = \frac{Q_B}{\frac{4}{3}\pi R_B{}^3}}\text{(II)}$$

III. De acordo com o enunciado:

$$\begin{cases} 5Q_A = 2Q_B \\ 10R_A = 3R_B \end{cases}, \text{ou seja, } \begin{cases} \boxed{Q_A = \frac{2}{5}Q_B}\text{(III)} \\ \boxed{R_A = \frac{3}{10}R_B}\text{(IV)} \end{cases}$$

IV. Substituindo as expressões (III) e (IV) na expressão (I), temos:

$$\rho_A = \frac{Q_A}{\frac{4}{3}\pi R_A{}^3} \rightarrow \rho_A = \frac{\left(\frac{2}{5}\right)Q_B}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{3}{10}\right)^3 R_B{}^3} \rightarrow \rho_A = \frac{2}{5}\cdot\frac{Q_B}{\frac{4\pi}{3}\cdot 27R_B{}^3}\cdot 1000$$

$$\boxed{\rho_A = \left(\frac{400}{27}\right)\left(\frac{Q_B}{\frac{4}{3}\pi RB^3}\right)}\text{(V)}$$

V. Substituindo a expressão (II) na expressão (V):

$$\rho = \left(\frac{400}{27}\right)\left(\frac{Q_B}{\frac{4\pi}{3}R_B{}^3}\right) \rightarrow \rho_A = \left(\frac{400}{27}\right)\cdot\rho_B \rightarrow \boxed{\frac{\rho_A}{\rho_A} = \frac{400}{27}}$$

Resposta: D

7.

A) **Falso**. As cargas estão localizadas na superfície externa da esfera e elas emitem linhas de campo elétrico que são perpendiculares a superfície e que estão saindo dela para fora da esfera (exterior da esfera), ou seja, as cargas não exercem campo elétrico dentro da esfera.

B) **Falso**. Para que não haja movimento de cargas dentro da energia, é necessário que o potencial elétrico no interior dela seja constante, ou seja, que não varie com a distância de um ponto interior até a superfície, pois, dessa maneira o equilíbrio eletrostático da esfera será mantido.

C) **Verdadeiro**. A necessidade de o campo elétrico ser perpendicular a superfície de um condutor que está em equilíbrio eletrostático decorre do fato de que, se o campo elétrico fosse inclinado em relação à superfície do condutor, haveria uma componente dele que seria tangente a superfície do condutor e ela provocaria o movimento de cargas no condutor, ou seja, ele não estaria em equilíbrio eletrostático.

D. **Falso**. Para que as cargas elétricas se distribuam pela superfície da esfera, é necessário que ocorra um fenômeno conhecido como repulsão entre elas e esse fenômeno ocorre em cargas que possuem sinal positivo e também em cargas que possuem sinal negativo. Portanto, é possível concluir que as cargas elétricas não dependem do sinal delas para se distribuírem pela superfície da esfera.

E) **Falso**. Observe que o campo elétrico de uma esfera condutora é obtida por meio da seguinte relação, $\boxed{E = \frac{kQ}{d^2}}$. Sendo **k** e Q valores definidos, é possível concluir que o campo elétrico externo a superfície da esfera depende do quadrado da distância.

Resposta: C

8.

i) Percebo que 0 < T < R, pois $r = \frac{R}{3}$, ou seja, a magnitude do campo elétrico e o potencial elétrico estão localizados no interior da esfera.

ii) Foi visto nesse módulo de estudo e nas aulas que o campo elétrico no interior de uma esfera condutora é zero, ou seja, $\boxed{E = 0\frac{V}{m}}$.

iii) Foi visto também nesse módulo de estudo e nas aulas que o potencial elétrico no interior de uma esfera é constante e a magnitude é obtida por meio da relação $U = \frac{kg}{R}$.

iv) Perceba que $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$, ou seja, $\boxed{U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R}}$.

Resposta: B

047.717-161399/22

9.

i) De acordo com o enunciado, para a esfera de cobre com raio da ordem de micrômetros, temos que:

Carga = $10^4 \cdot e$;

↳ Carga elementar ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C)

Raio = 10^{-6} m (micrômetros)

ii) Baseado nos dados do passo (i) e sendo σ a densidade superficial da esfera de cobre com raio da ordem de micrômetros, temos que:

$$\sigma = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}} \rightarrow \sigma = \frac{10^4 \cdot e}{4\pi(10^{-6})^2} \rightarrow \boxed{\sigma = \frac{10^4 e}{4\pi \cdot 10^{-12}}}$$

iii) Sendo **n** o número de cargas elementares na esfera de cobre com raio da ordem de milímetros, temos que:

Carga = $n \cdot e$;

↳ Carga elementar ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C)

Raio = 10^{-3} m (milímetro)

iv) Baseado nos dados do passo (iii) e sendo σ' a densidade superficial da esfera de cobre com raio da ordem de milímetros, temos que:

$$\theta' = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}} \rightarrow \sigma' = \frac{n \cdot e}{4\pi(10^{-3})^2} \rightarrow \boxed{\sigma' = \frac{ne}{4\pi \cdot 10^{-6}}}$$

v) De acordo com o enunciado, a densidade superficial é mantida constante, ou seja, $\boxed{\sigma = \sigma'}$, logo:

$$\sigma = \sigma' \rightarrow \frac{10^4 \cancel{e}}{\cancel{4\pi} \cdot 10^{-12}} = \frac{n \cancel{e}}{\cancel{4\pi} \cdot 10^{-6}} \rightarrow \frac{10^4}{10^{-12}} = \frac{n}{10^{-6}} \rightarrow$$

$$10^4 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-6} = n \rightarrow \boxed{n = 10^{10}}$$

Resposta: D

10.

A) **Falso**. O condutor esférico dentro da cavidade possui uma carga Q, ou seja, esse condutor é um emissor de linhas de campo elétrico que sairão da superfície externa dela e chegarão a superfície interna da cavidade induzindo uma carga de calor – Q nela.

B) **Falso**. Embora o enunciado forneça linhas de campo elétrico que aparentem ser retas radiais em relação à esfera, ele não fornece informações suficientes para provar se isso ocorrerá com todas as linha de campo que sairão da esfera, ou seja, é possível que haja linhas de campo elétrico que não foram representadas pelo enunciado e que não sejam retas raiais em relação à esfera.

C) **Verdadeiro**. A carga Q do condutor esférico irá induzir uma carga – Q na superfície interna do condutor oco por causa das linhas de campo elétrico que saem dele e é necessário, para que ocorra o equilíbrio eletrostático no sistema, que as linhas de forças sejam perpendiculares a superfície, pois caso contrário, teríamos componentes de força tangente a superfície dos condutores provocando movimento da carga e retirando o sistema do equilíbrio.

D. **Falso**. Como explicado no item C, linhas de força tangente a superfície provocam movimento de cargas elétricas e retiram o sistema do equilíbrio.

E) **Falso**. Mesmo se o condutor oco tiver uma carga + Q, o condutor esférico irá induzir uma carga – Q na superfície interna dele e, por causa dessa indução, o condutor oco terá uma carga + 2Q na superfície externa deles e isso irá provocar a diferença de potencial entre ele e o condutor esférico.

Resposta: C

11.

i) O potencial elétrico no interior de uma casca esférica é obtida por meio da relação $V = \frac{kQ}{R}$.

ii) Baseado no passo (i) e nos dados fornecidos pelo enunciado, temos:

$$V_0 = \frac{kQ}{R} \rightarrow 36\pi = \frac{9 \cdot 10^9 Q}{1} \rightarrow$$

$\boxed{Q = 4\pi \cdot 10^{-9}\ C}$ Carga presente na superfície da carga elétrica

iii) Seja σ a densidade da carga na superfície da esfera, utilizando o resultado obtido no passo (ii) é possível encontrar o valor de σ, logo:

$$\sigma = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}} \Rightarrow \sigma = \frac{Q}{4\pi \cdot (\text{Raiz})^2} \rightarrow \sigma = \frac{4\pi \cdot 10^{-9}}{4\pi \cdot (1)^2} \rightarrow$$

$$\boxed{\sigma = 10^{-9}\frac{C}{m^2} = 10 \cdot 10^{-10}\frac{C}{m^2}}$$

Resposta: A

12.

i) Para que o equilíbrio eletrostático seja alcançado, é necessário que a diferença de potencial entre as esferas seja zero. Logo:

$$V_1 - V_2 = 0 \rightarrow V_1 = V_2 \rightarrow \frac{k\cancel{Q_1}}{r_1} = \frac{k\cancel{Q_1}}{r_1} \rightarrow \frac{Q_1}{\cancel{Q}} = \frac{Q_2}{2\cancel{Q}} \rightarrow \boxed{Q_2 = 2Q_1}$$

ii) A densidade superficial de cargas das esferas são:

$$\sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi r_1^2} \rightarrow r_1 = a \rightarrow \boxed{\sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi a^2}}\ (I)$$

$$\sigma_2 = \frac{Q_2}{4\pi r_2^2} \rightarrow r_2 = 2a \rightarrow \sigma_2 = \frac{Q_2}{4\pi \cdot (2a)^2} \rightarrow$$

$$Q_2 = 2Q_1 \rightarrow \boxed{\sigma_2 = \frac{2Q_1}{16\pi a^2}}\ (II)$$

iii) Dividindo a expressão (I) pela expressão (II):

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\frac{Q_1}{4\pi a^2}}{\frac{2Q_1}{16\pi a^2}} = \frac{\cancel{Q_1}}{4\cancel{\pi a^2}} \cdot \frac{16\cancel{\pi a^2}}{2\cancel{Q_1}} \rightarrow$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{16}{42} \rightarrow \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{16}{8} \rightarrow \boxed{\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 2}$$

Resposta: A

13.

i) Para que o equilíbrio eletrostático seja alcançado, é necessário que a diferença de potencial entre as esferas seja zero. Logo:

$$V_{Gerador} - V_{Esfera} = 0 \rightarrow V_{Gerador} = V_{Esfera} \rightarrow \frac{k\cancel{Q_{Gerador}}}{R_0} = \frac{k\cancel{Q_{Esfera}}}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{R_0}{4} \rightarrow R_0 = 4R_1 \rightarrow \frac{Q_{Gerador}}{4\cancel{R_1}} = \frac{Q_{Esfera}}{\cancel{R_1}} \rightarrow \boxed{Q_{Gerador} = 4Q_{Esfera}}$$

ii) A densidade superficial de cargas das esferas são:

- $\sigma_{Gerador} = \frac{Q_{Gerador}}{4\pi(R_{Gerador})^2} = \frac{Q_{Gerador}}{4\pi R_0^2} = \frac{Q_{Gerador}}{4\pi(4r_1)^2} \rightarrow$

$$\boxed{\sigma_{Gerador} = \frac{4Q_{Esfera}}{64\pi R_1^2}}\ (I)$$

047.717-161399/22

- $\sigma_{Esfera} = \dfrac{Q_{Esfera}}{4\pi(R_{Esfera})^2} = \dfrac{Q_{Esfera}}{4\pi(R_1)^2} = \boxed{\sigma_{Esfera} = \dfrac{Q_{Esfera}}{4\pi R_1^2}}$ (II)

iii) Dividindo a expressão (I) pela expressão (II):

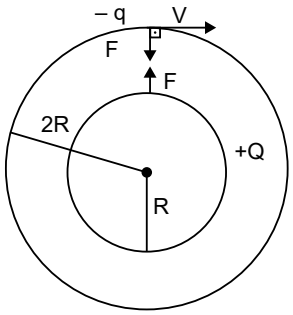
$$\frac{\sigma_{Esfera}}{\sigma_{Gerador}} = \frac{Q_{Esfera}}{4\pi R_1^2} \cdot \frac{64\pi R_1^2}{4Q_{Esfera}} \rightarrow \frac{\sigma_{Esfera}}{\sigma_{Gerador}} = \frac{64}{4\cdot 4} \rightarrow \boxed{\frac{\sigma_{Esfera}}{\sigma_{Gerador}} = 4}$$

Resposta: A

14.

i) O potencial elétrico no interior de uma esfera é obtido por meio da expressão $V = \dfrac{kQ}{R}$. Baseado no enunciado, é possível concluir que $\boxed{V_C = \dfrac{kQ}{R}}$ (I)

ii) Perceba que a única força que atua na partícula de carga – q é uma força elétrica de atração por causa da interação dela com a esfera. Para que a partícula mantenha um movimento circular uniforme, é necessário que a força elétrica que ela sente exerça o papel de resultante centrípeta. Logo:



$$F_{elétrica} = F_{centrípeta} \rightarrow \frac{k|Q|\cdot|q|}{(2R)^2} = \frac{m_{partícula}\cdot V^2}{2R}$$

$$\rightarrow \frac{kQ\cdot q}{4R^2} = \frac{m_{partícula}\cdot V^2}{2R} \rightarrow \boxed{\frac{m_{partícula}\cdot V^2}{2} = \left(\frac{kQ}{R}\right)\cdot\frac{q}{4}} \text{ (II)}$$

iii) A energia cinética da partícula (E_{cin}) é obtida por meio da relação:

$$\boxed{E_{cin} = \frac{m_{partícula}\cdot V^2}{2}} \text{ (III)}$$

iv) Substituindo (I) em (II):

$$\boxed{\frac{m_{partícula}\cdot V^2}{2} = V_C\cdot\frac{q}{4}} \text{ (IV)}$$

v) Substituindo (IV) em (III):

$$E_{cin} = \frac{m_{partícula}\cdot V^2}{2} \rightarrow \boxed{E_{cin} = \frac{q\cdot V_C}{4}}$$

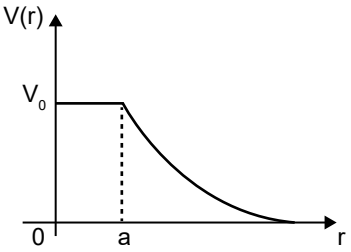
Resposta: D

15.

i) O potencial elétrico no interior de um condutor esférico é constante no intervalo 0 < r < Q e possui calor igual ao potencial da superfície, ou seja, V_o.

ii) O potencial elétrico no exterior de um condutor esférico é obtido por meio da relação $V = \dfrac{kQ}{r}$. Sendo os valores de k e Q definidos, é possível concluir que com o aumento de **r**, no intervalo em que r > Q, o calor de V decresce.

iii) Baseado nos passos (i) e (ii), é possível concluir que o gráfico que melhor representa a variação de potencial $V_{(r)}$ em função da distância r no centro do condutor esférico é:



Resposta: A

16.

i) O volume da nova gota (raio R) pode ser obtido por meio da soma dos valores das duas gotas originais, logo:
Volume novo = Volume 1 + Volume 2 →

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi R_1^3 + \frac{4}{3}\pi R_2^3$$

$$\rightarrow R^3 = R_1^3 + R_2^3 \rightarrow R^3 = (1\cdot 10^{-3})^3 + (\sqrt[3]{7}\cdot 10^{-3})^3 \rightarrow$$

$R^3 = 10^{-9}\ m^3 + 7\cdot 10^{-9}\ m^3$

$\rightarrow R^3 = 8\cdot 10^{-9}\ m^3 \rightarrow \boxed{R = 2\cdot 10^{-3}\ m}$ Raio da nova bolha

ii) A carga elétrica da nova bolha (Q) é a soma das cargas das duas gotas originais que foram utilizadas para formá-la, logo:

$Q = Q_1 + Q_2 \rightarrow Q = 20\cdot 10^{-3}\ C + (-70)\cdot 10^{-3}\ C \rightarrow$

$\boxed{Q = -50\cdot 10^{-3}\ C}$

iii) Utilizando os dados obtidos nos passo (i) e (ii), podemos calcular o potencial elétrico da nova bolha.

$$V = \frac{kQ}{R} \rightarrow V = \frac{9\cdot 10^9\cdot(-50)\cdot 10^{-3}}{2\cdot 10^{-3}} \rightarrow \boxed{V = -225\cdot 10^9\ V = -225\ MV}$$

Resposta: C

17.

i) É fornecido no módulo de estudo que a expressão utilizada para obter o campo elétrico no interior de uma esfera é:

$$\boxed{E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Qr}{R^3}}$$

Onde R é o raio da esfera isolante e **r** é a distância do centro até o ponto onde se desejar obter o valor do campo elétrico no interior da esfera.

ii) De acordo com o enunciado $r = \dfrac{R}{2}$, logo:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Qr}{R^3} \rightarrow E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{R^3}\cdot\frac{R}{2} \rightarrow E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{2R^2}$$

$$\boxed{E = \frac{Q_1}{8\pi\varepsilon_0 R^2}}$$

Resposta: C

047.717-161399/22

18.

i) Perceba que nenhuma das esferas perdem carga para o ambiente, ou seja, a carga total do sistema é conservado. Baseado nisso é possível afirmar que a soma das cargas finais da esfera A(Q_A) e da esfera B(Q_B) é igual a soma das cargas iniciais da esfera A (+ 6 μC) e da esfera B(– 4 μC), ou seja:

$+ 6\ \mu C + (-4\ \mu C) = Q_A + Q_B \rightarrow \boxed{Q_A + Q_B = +2\ \mu C}$ (I)

ii) As esferas A e B possuem mesmas dimensões, ou seja, elas possuem raios de mesmos valores ($R_A = R_B$).

iii) Para que o equilíbrio eletrostático seja alcançado, é necessário que a diferença de potencial elétrico entre as esferas seja zero. Logo:

$$V_A - V_B = 0 \rightarrow V_A = V_B \rightarrow \frac{\cancel{k}Q_A}{\cancel{R_A}} = \frac{\cancel{k}Q_B}{\cancel{R_B}} \rightarrow \boxed{Q_A = Q_B}\ (II)$$

iv) Analisando as expressões (I) e (II), é possível concluir que $\boxed{Q_A = Q_B = +1\ \mu C}$

v) Percebo que a carga da esfera A fica "menos positiva", pois ela sai de uma carga + 6 μC para uma carga + 1 μC, que a carga da esfera B fica "menos negativas", pois ela sai de uma carga – 4 μC, para uma carga + 1 μC. Portanto, para que isso ocorra, é necessário que a esfera B tenha perdido elétrons e que a esfera A tenha ganho elétrons, logo passam elétrons de B para A.

Resposta: C

19.

i) É formado no módulo de estudos que a capacitância de uma esfera é obtida por meio da relação $\boxed{C = \frac{R}{k}}$, onde C é a capacitância (capacidade) da esfera, R é o raio da esfera e **k** é a constante eletrostática.

ii) Perceba que, de acordo como gráfico fornecido pelo enunciado, **a** é o raio da esfera. Baseado nisso e no passo (i), temos:

$$C = \frac{R}{k_0} \rightarrow 10 \cdot 10^{-9} = \frac{a}{9 \cdot 10^9} \rightarrow a = 10 \cdot 10^{-9} \cdot 9 \cdot 10^{+9} \rightarrow \boxed{a = 9\ m}$$

iii) Utilizando os valores fornecido pelo gráfico, é possível encontrar a carga da esfera, logo:

$$U = \frac{kQ}{d} \rightarrow 60 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot Q}{15} \rightarrow 900 = 9 \cdot 10^9 \cdot Q \rightarrow \boxed{Q = 100 \cdot 10^{-9}\ C}$$

iv) Utilizando o resultado do passo (iii), é possível encontrar o valor de **b**.

$$U = \frac{kQ}{d} \rightarrow b = \frac{k \cdot Q}{a} \rightarrow b = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}{9} \rightarrow \boxed{b = 100\ v}$$

Resposta: E

20. Perceba que, no cotidiano, é muito comum utilizarmos objetos isolantes, como o papel, para realizarmos alguma atividade. Observe que, ao utilizarmos esses objetos, nossa pele é atritada com eles e, por essa razão, ela acaba sendo eletrizada. Em dias em que as condições ambientais estão normais, o excesso de carga que nossa pele adquiri por causa da eletrização por atrito é descarregada pelo próprio ar. Porém, em dias em que há pouca umidade, o processo de descarga pelo ar é bastante lento e, por essa razão, nossa pele acumula mais cargas estáticas por meio do atrito com objetos isolantes do que ela é capaz de perder por meio do ar, ou seja, o corpo humano acaba se carregando com cargas estáticas. Ao trocar em condutores, como o carro ou a maçaneta, ocorre uma busca descarga no corpo humano, pois a carga elétrica consegue fluir com facilidade por esse materiais e, por essa razão, ocorre o choque elétrico. Baseado no que foi dito acima, é possível concluir que o fenômeno do enunciado é um exemplo de eletricidade estática acumulada nos objetos.

Resposta: B

21. Perceba que o ônibus é feito, em sua grande parte, de material condutor, ou seja, ao ser atingido por um raio, o ônibus irá atuar como uma gaiola de Faraday e protegerá os passageiros de fenômeno elétricos que ocorrem no seu exterior, ou seja, ele irá atuar como uma blindagem para fenômenos elétricos e, por essa razão, os passageiros do ônibus não sofrerão danos físicos.

Resposta: D

22.

i) Para que o equilíbrio eletrostático seja alcançado, é necessário que a diferença de potencial entre as esferas seja zero. Logo:

$$V_1 - V_2 = 0 \rightarrow V_1 = V_2 = 0 \rightarrow \frac{kQ_1}{R_1} = \frac{kQ_2}{R_2} \rightarrow \begin{cases} R_1 = a \rightarrow \frac{\cancel{k}Q_1}{\cancel{a}} = \frac{\cancel{k}Q_2}{2\cancel{a}} \\ R_2 = 2a \end{cases}$$

$$\rightarrow Q_1 = \frac{Q_2}{2} \rightarrow \boxed{Q_2 = 2Q_1}$$

ii) A densidade superficial de carga das esferas são:

- $\sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi R_1^2} \rightarrow R_1 = a \rightarrow \boxed{\sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi a^2}}$ (I)
- $\sigma_2 = \frac{Q_2}{4\pi R_2^2} \rightarrow \begin{cases} R_2 = 2a \rightarrow \boxed{\sigma_2 = \frac{2Q_1}{16\pi a^2}} \\ Q_2 = 2Q_1 \end{cases}$ (II)

iii) Dividindo a expressão (I) pela expressão (II):

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\frac{Q_1}{4\pi a^2}}{\frac{2Q_1}{16\pi a^2}} \rightarrow \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\cancel{Q_1}}{4\cancel{\pi a^2}} \cdot \frac{16\cancel{\pi a^2}}{2\cancel{Q_1}} = \frac{16}{4 \cdot 2} \rightarrow \boxed{\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 2}$$

Resposta: E

23.

I. **Verdadeiro**. A gaiola de Faraday foi um experimento realizado pelo físico Michael Faraday para provar que, em equilíbrio eletrostático, as cargas elétricas em um condutor se distribuem por toda as superfície externa dele e, como consequência, não há diferença de potencial elétrico no interior desses materiais. Tal comportamento garante que o campo elétrico no interior desse condutor é inteiramente nulo, ou seja, ela consegue impedir a entrada de pertubações produzidas por campo elétrico e/ou magnéticos externos.

II. **Verdadeiro**. A eficiência da gaiola de Faraday depende da composição da malha metálica e do tamanho da trama, além de outros fatores como regra geral, para que a intensidade da onda eletromagnética seja bastante reduzida, o espaçamento da trama deve ser bem menor do que o comprimento de onda da onda eletromagnética que é desejada bloquear. Se os buracos da gaiola de Faraday forem muito grandes, a impedância (propriedade do material de resistir ao fluxo de uma determinada corrente elétrica) dela aumenta e, por essa

047.717-161399/22

razão, as correntes induzidas na gaiola, que bloqueavam a entrada da onda eletromagnética, são dissipadas e, consequentemente, as ondas eletromagnéticas atravessam a gaiola e são captadas pelo telefone celular.

III. **Verdadeiro**. Quando duas ondas estão interferindo entre si, as amplitudes delas são somadas para gerar a amplitude de uma onda resultante. Em uma interferência destrutiva, a soma das amplitudes das ondas que estão interferindo é zero, ou seja, como não há onda eletromagnética para transmitir informação, a comunicação entre a ERB é comprometida.

Resposta: D

24.

i) Perceba que nenhuma das esferas perdem carga para o ambiente, ou seja, a carga total do sistema é conservada. Baseado nisso, é possível afirmar que a soma das cargas finais de esfera **x** (Q_x) e da esfera **y** (Q_y) é igual a soma das cargas iniciais da esfera **x**(2Q) e da esfera **y**(Q), ou seja:

$$2Q + Q = Q_x + Q_y \rightarrow \boxed{Q_x + Q_y = 3Q} \text{ (I)}$$

ii) Para que o equilíbrio eletrostático seja alcançado, é necessário que a diferença de potencial elétrico entre as esferas seja zero. Logo:

$$v_x - v_y = 0 \rightarrow v_x = v_y \rightarrow \frac{kQ_x}{R_x} = \frac{kQ_y}{R_y} \rightarrow \underline{Ry = 2Rx} \text{ (Enunciado)}$$

$$\rightarrow \frac{\cancel{k}Q_x}{\cancel{R_x}} = \frac{\cancel{k}Q_y}{2\cancel{R_x}} \rightarrow Q_x = \frac{Q_y}{2} \rightarrow \boxed{Q_y = 2Q_x} \text{ (II)}$$

iii) Substituindo a expressão (II) na expressão (I):

$$Q_x + Q_y = 3Q \rightarrow Q_x + 2Q_x = 3Q \rightarrow \cancel{3}Q_x = \cancel{3}Q \rightarrow \boxed{Q_x = Q}$$

iv) Substituindo o valor de Q_x na expressão (II), temos que:

$$Q_y = 2Q_x \rightarrow Q_x = Q \rightarrow \boxed{Q_y = 2Q}$$

Resposta: A

25.

i) De acordo com o enunciado, a capacitância por unidade de área da membrana é $C_{Área} = 0{,}8 \cdot 10^{-6} \frac{F}{cm^2}$. Portanto, utilizando a área que foi fornecida para a membrana no enunciado, é possível encontrar o valor da capacitância total dessa membrana.

$$C_{Membrana} = C_{Área} \cdot Área \rightarrow C_{Membrana} = 0{,}8 \cdot 10^{-6} \frac{F}{\cancel{cm^2}} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \ \cancel{cm^2}$$

$$\rightarrow C_{Membrana} = 0{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ F} \rightarrow \boxed{C_{Membrana} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ F}}$$

↓

Valor da capacitância total da membrana

ii) É fornecido pelo módulo de estudo que a expressão utilizada pra relacionar a capacitância (C) de um material com a carga (Q) dele e o potencial elétrico (V) que ele está submetido é $\boxed{C = \frac{Q}{v}}$. Portanto, utilizando essa expressão, é possível encontra o valor da carga total que atravessaram a membrana.

$$C = \frac{Q}{v} \rightarrow \begin{cases} C = C_{Membrana} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ F} \\ V = 80 \text{ mV} = 80 \cdot 10^{-3} \text{ V} \end{cases} \rightarrow 4 \cdot 10^{-11} = \frac{Q}{80 \cdot 10^{-3}} \rightarrow \boxed{Q = 3{,}2 \cdot 10^{-12} \text{ C}}$$

iii) Perceba que 1 íon possui uma carga de $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Portanto, baseado nisso e no resultado obtido no passo (II), é possível encontra a quantidade total de íons que atravessaram a membrana, logo:

$$\frac{1 \text{ íon}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \frac{x}{3{,}2 \cdot 10^{-12} \text{ C}} \rightarrow (1 \text{ íon}) \cdot (3{,}2 \cdot 10^{-12} \text{ C}) = x \cdot (1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ C})$$

$$\rightarrow x = (1 \text{ íon}) \left(\frac{3{,}2 \cdot 10^{-12} \ \cancel{C}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \ \cancel{C}} \right) \rightarrow x = (1 \text{ íon}) \cdot (2 \cdot 10^{7}) \rightarrow$$

$$\boxed{x = 2 \cdot 10^{7} \text{ íons}}$$

Resposta: A

26.

i) O potencial elétrico na superfície de um condutor esférico é obtido por meio da expressão $\boxed{v = \frac{kQ}{R}}$ onde **v** é o potencial elétrico na superfície da esfera, k_o é a constante de coulomb cujo valor é $9 \cdot 10^{9} \frac{N \cdot m^2}{c^2}$, Q é a carga armazenada na esfera e R é o raio da esfera.

ii) Utilizando as informações do passo (i) e as informações fornecidas pelo enunciado, é possível encontrar o valor do potencial elétrico produzido na superfície do condutor quando ele tem a carga máxima, logo:

$$v = \frac{k_o Q}{R} \rightarrow \begin{cases} Q = 30 \ \mu C = 30 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ R = 30 \text{ cm} = 30 \cdot 10^{-2} \text{ m} \end{cases} \rightarrow v = \frac{(9 \cdot 10^{9})(\cancel{30} \cdot 10^{-6})}{\cancel{30} \cdot 10^{-2}}$$

$$\rightarrow v = \frac{9 \cdot 10^{9} \cdot 10^{-6}}{10^{-2}} \rightarrow \boxed{v = 9 \cdot 10^{5} \text{ volts}}$$

Resposta: A

27.

i) Densidade volumétrica de carga (ρ) é a quantidade de carga que se encontra em cada unidade de volume de um corpo, ou seja, $\rho = \frac{carga(Q)}{volume(V)}$.

ii) O volume de uma esfera é obtido por meio da relação $V = \frac{4}{3}\pi(Raio)^3$. Baseado nisso e no passo (i), temos para as esferas A e B que:

$$\boxed{\rho_A = \frac{Q_A}{\frac{4}{3}\pi R_A^{\ 3}}} \text{ (I)} \quad ; \quad \boxed{\rho_B = \frac{Q_B}{\frac{4}{3}\pi R_B}} \text{ (II)}$$

iii) De acordo com o enunciado:

$$\begin{cases} 5Q_A = 2Q_B \\ 10R_A = 3R_B \end{cases}, \text{ ou seja, } \begin{cases} \boxed{Q_A = \frac{2}{5}Q_B} \text{ (III)} \\ \boxed{R_A = \frac{3}{10}R_B} \text{ (IV)} \end{cases}$$

047.717-161399/22

iv) Substituindo as expressões (III) e (II) na expressão (I), temos:

$$\rho_A = \frac{Q_A}{\frac{4}{3}\pi R_A^{\,2}} \rightarrow \rho_A = \frac{\left(\frac{2}{5}\right)Q_B}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{3}{10}R_B\right)^3} \rightarrow \rho_A = \frac{2}{5}\cdot\frac{Q_B}{\frac{4\pi}{3}\cdot 27R_B^{\,3}}\cdot 1000$$

$$\rightarrow \boxed{\rho_A = \left(\frac{400}{27}\right)\left(\frac{Q_B}{\frac{4}{3}\pi R_B^{\,3}}\right)}\ (V)$$

v) Substituindo a expressão (II) na expressão (V):

$$\rho_A = \left(\frac{400}{27}\right)\left(\frac{Q_B}{\frac{4}{3}\pi\cdot R_B^{\,3}}\right) \rightarrow \rho_A = \left(\frac{400}{27}\right)\rho_B \rightarrow \boxed{\frac{\rho_A}{\rho_B} = \frac{400}{27}} \rightarrow$$

Resposta: D

28. Observe que, por a lata ser metálica, ela é feita de material condutor, ou seja, ela irá atuar como uma gaiola de Faraday distribuindo as cargas elétrica induzidas nesse material por toda a superfície de tal maneira que não haja diferença de potencial elétrico entre quaisquer dois pontos da lata. Tal comportamento garante que o campo elétrico em seu interior torne-se inteiramente nulo, ou seja, a lata metálica consegue isolar o celular de qualquer campo elétrico externo.

Resposta: D

29. Como o ar atmosférico é um material isolante, mesmo o acúmulo de cargas elétricas positivas ou negativas, os raios não ocorrem a todo momento. Para que eles ocorram, é necessário que o valor do campo elétrico gerado pelo acúmulo de cargas elétricas supere a intensidade da rigidez elétrica do ar (máximo valor de campo elétrico que o ar suporta para não se tornar um condutor). Quando a intensidade da rigidez dielétrica é superada, o ar atmosférico se torna um condutor e é possível ocorrer as descargas elétrica, ou seja, os raios. Baseado no que foi dito acima, é possível concluir que, para os raios ocorrerem, é necessário aumentar a intensidade do campo elétrico entre as nuvens e a superfície da Terra de modo que a rigidez dielétrica do ar seja superada.

Resposta: D

30.

i) A área de uma esfera é obtida por meio da relação $A = 4\pi R^2$, sendo R o raio da esfera e A a área dela. Baseado nisso e nas informações do enunciado, temos:

$$A = 4\pi R^2 \rightarrow R = 0{,}50\ m \rightarrow A = 4\pi(0{,}50\ m)^2 \rightarrow$$

$$A = 4\pi\cdot 0{,}25\ m^2 \rightarrow \boxed{A = \pi m^2}$$

ii) De acordo com o enunciado, a densidade superficial de cargas na esfera metálica é $1{,}0\cdot 10^{-6}\ C/m^2$. Baseado nisso e no resultado obtido no passo (i), é possível encontrar o valor da carga elétrica Q presente na esfera.

$$1{,}0\cdot 10^{-6}\frac{C}{\cancel{m^2}} = \frac{Q}{\pi\cancel{m^2}} \rightarrow 1{,}0\cdot 10^{-6}\ C = \frac{Q}{\pi} \rightarrow \boxed{Q = \pi\cdot 10^{-6}\ C}$$

Resposta: A

31.

i) Devido ao fato de cargas elétricas não conseguirem se movimentar em materiais isolantes, elas não conseguem se distribuir de tal maneira que seja possível anular efeitos elétricos igual ao que ocorre na gaiola de Faraday. Portanto, as alternativas B e C estão incorretas.

ii) Ao colocar uma placa metálica entre A e B, a esfera A irá induzir carga elétrica negativa no lado da placa metálica que está voltado para ela e, consequentemente, para manter a conservação de carga elétrica na placa metálica, irá ocorrer a indução de carga elétrica positiva no lado da placa metálica que está voltada para a esfera B. Essa carga elétrica positiva que está voltada para a esfera B irá induzir carga elétrica negativa nula, ou seja, a placa metálica consegue transmitir os efeitos elétricos da esfera A para a esfera B. Portanto, a alternativa E está incorreta.

iii) Ao envolver a esfera A com uma esfera metálica, a esfera A irá induzir carga elétrica negativa na superfície inferior da esfera metálica e, consequentemente, para manter a conservação de carga elétrica na esfera metálica, irá ocorre a indução de carga elétrica positiva na superfície externa da esfera metálica. Essa carga elétrica positiva que está na superfície externa da esfera metálica irá induzir carga elétrica negativa na esfera B, ou seja, a esfera metálica consegue transmitir os efeitos elétricos da esfera A para a esfera B, ou seja, é possível concluir que a alternativa A está incorreta. Portanto, para proteger a esfera B dos efeitos elétricos transmitidos pela esfera metálica, é necessário que a esfera metálica seja aterrada (legada ao solo) para que elétrons provenientes da Terra anulem a carga elétrica positiva na superfície externa da esfera metálica, e dessa maneira, impedir que efeitos elétricos sejam transmitidos para a esfera B.

Resposta: D

Anotações

DIGITAÇÃO: CLAUDIA – REVISÃO: SHERYDA

047.717-161399/22